...R CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 380, d. d. 8 februari 1967

Voorstel ter bespreking in de 'Werkgroep vereiste capaciteit poldergemalen' aangaande het vaststellen van noodzakelijke aanvullende gegevens voor het gemaal 'De Piet' in de gemeente 'Wolphaartsdijk' op Zuid-Beveland

ir. Ph. Th. Stol

Inhoud | Blz.

Van een aantal gemalen in het Delta-gebied worden de maalstaten over een reeks van jaren bewerkt. De resultaten leiden tot inzichten in de in het verleden noodzakelijk gebleken beschikbare bemalings-capaciteit.

Analyse van de verschillende in voorgaande jaren voorgekomen afvoersituaties kan aan het licht brengen welke eisen aan de bemalingscapaciteit gesteld moet worden indien aangenomen wordt, dat ook in komende jaren zich vergelijkbare of berekenbare meteorologische en hydrologische situaties zullen voordoen.

Voor de gemalen 'De Moer' en 'Groenewege' op Zuid-Beveland is in een tweetal nota's (I.C.W. Nr. 299 en Nr. 339) de methode van werken uiteengezet.

Uit het gebied van onderzoek lenen zich momenteel nog twee gemalen om op identieke wijze te worden doorgewerkt. Dit zijn respectievelijk 'De Piet', eveneens op Zuid-Beveland en het gemaal 'Poortvliet' op Tholen.

Een bewerking van deze gemalen geeft een verdere mogelijkheid tot onderlinge vergelijking van een aantal verschillende bemalingsgebieden. Gedeeltelijk is dit reeds gedaan in nota 340, waarin de resultaten verkregen met de gemalen 'De Moer' en 'Groenewege' ten opzichte van elkaar werden vergeleken. Volgende gemalen kunnen dienen om de conclusies nog nader te accentueren, respectievelijk duidelijker onderscheid te kunnen maken tussen de specifieke eigenschappen van elk gebied.

Momenteel verkeren de werkzaamheden verricht aan het gemaal 'De Piet' in een vergevorderd stadium. De van de maalstaten afkomstige benodigde gegevens zijn reeds geponst. De gegevens hebben betrekking op de periode 1 april 1927 tot en met 3 januari 1959 waarvan, door wijziging van machines, alleen de gegevens van na 1945 bruikbaar zullen zijn. Vastgesteld moeten nog worden de buitenpeilen en de QH-kromme.

Voor beide grootheden volgt hieronder een samenvatting van de huidige stand van zaken met een aanduiding op welke wijze met de bij het I.C.W. beschikbare gegevens de bewerking kan worden voltooid.

1. Het buitenpeil

Vóór afsluiting van het Veerse Meer sloeg 'De Piet' uit op het fluctuerend buitenpeil van de Zandkreek. Dit buitenpeil wordt niet gegeven in de maalstaten van het gemaal, zodat op indirecte wijze het buitenpeil gereconstrueerd moet worden.

Dat het hierbij niet voldoende is van verwachte standen uit te gaan volgt reeds uit de overweging dat juist perioden met extreme omstandigheden - opwaaiing, stormvloed en dergelijke - aanleiding zijn tot afwijkingen in het bemalingsbeleid. Deze situaties wil men in zijn uitkomsten niet gaarne missen. Dit is tevens de reden waarom van het werken met een gemiddelde eb- en vloed-beweging is afgezien.

Tevens geldt als punt van overweging dat de bewerking eenvoudig moet zijn. Zuiver rekentechnische bewerkingen leveren geen bezwaren op. Bedacht moet echter worden dat bij elk tijdstip van begin en einde van bemaling over een reeks van jaren de bijbehorende buitenpeilen moeten worden bepaald wat het eenvoudigste is door aflezing van grafieken (registratiestroken van peilschrijvers).

Buitenpeilen zijn gemeten te Veere met een schrijver vanaf mei 1953 en te Arnemuiden, maar hier alleen de extreme waarden (eb-en vloedstanden). Deze gegevens zijn echter voor het gestelde doel niet volledig genoeg. Complete series waarnemingen over een voldoend aantal jaren kunnen ontleend worden aan Vlissingen, maar de grote afstand tot 'De Piet' zou hier als bezwaar aangevoerd kunnen worden.

1a. Invloed van de suatie-geul

Het gemaal maalt af op het buitenwater via een suatiegeul. In deze geul bevindt zich een drempel die reeds in de jaren 1928 aanwezig moet zijn geweest. Voor de kruinhoogte van de drempel zijn verschillende waarden opgegeven, doch de opgave gedaan door Rijkswaterstaat Deltadienst bij schrijven nr. 92321 d.d. 11 augustus 1964 wordt als definitieve beschouwd. In figuur 1 wordt de figuur,ontleend aan dit schrijven, gegeven. Hierin wordt het verband tussen het peil bij het gemaal en het peil in de Zandkreek weergegeven. Een situatie-schetsje verduidelijkt de grafiek. Aangenomen is, dat de fasevertraging van de getijbeweging over dit traject verwaarloosbaar is ten opzichte van andere onnauwkeurigheden.

1b. De gedaante van de getijdebeweging

Verderrekenend vanaf het gemaal moet thans de vorm van de getijdebeweging in de Zandkreek in de omgeving van het gemaal vastgesteld worden. Ook nu moet schematisch te werk gegaan worden aangezien grote detaillering noch door de omvangrijkheid, noch door onzekerheden elders in het materiaal, verantwoord is.

In figuur 2 wordt de spring-, gemiddelde- en doodtijcurve van Veere gegeven, zoals deze uit een grafische middeling door de Hydrometrische Afdeling van Rijkswaterstaat is samengesteld. Tevens wordt in deze figuur de gemiddelde getijkromme van Vlissingen gegeven, zoals deze voorkomt in de 'Getijtafels voor Nederland.' Het karakter der getijden blijkt voldoende overeenkomst te vertonen om de buitenwaterstanden bij 'De Piet' van Vlissingen af te leiden.

Uit de krommen voor Veere en Goesse Sas stelde de Hydrometische Afdeling van Rijkswaterstaat tevens een reeks curven voor Kortgene samen, ook deze hebben een vorm die overeenkomt met die welke in Vlissingen optreedt.

De conclusie kan dan ook luiden, dat voor de bepaling van de buitenpeilen bij het gemaal 'De Piet' de registratiestroken van Vlissingen getijdekrommen leveren die eenzelfde grondvorm hebben en daardoor als geschikt uitgangspunt voor verdere bewerking kan dienen.

1c. De fasevertraging

Een grote systematische fout die bij de reconstructie van het buitenpeil op een zekere plaats gemaakt kan worden is een verschuiving van de gehele curve over een aantal tijdseenheden, dat wil zeggen een faseverschuiving die bewerkstelligt, dat systematisch te hoge respectievelijk te lage standen worden afgelezen.

Een schatting van de fasevertraging kan worden verkregen door gebruik te maken van de gegevens uit de 'Getijtafels voor Nederland' (Fig.4).

De kaartjes die de tijdsverschillen van Hoogwater respectievelijk Laagwater met Vlissingen weergeven laten interpolatie toe die er op wijzen dat voor het Hoogwater in de omgeving van 'De Piet' met een vertraging van 30 minuten rekening moet worden gehouden en voor het Laagwater ongeveer 25 minuten.

Een wat nadere detaillering wordt verkregen door de figuren 2 en 3 onderling te vergelijken. Een verschuiving over 4 mm, overeenkomend met 20 minuten, brengt beide figuren praktisch tot dekking (afgezien van het verschil in amplitude). Voor Veere wordt in de 'Getijtafels' een tijdsverschil van Laagwater met Vlissingen gegeven van 14 minuten, zodat voor Kortgene geldt een waarde van bijna 35 minuten. Deze waarde wordt ook in de'Getijtafels' gegeven, doch uit de figuur blijkt nog dat ook voor het Hoogwater deze waarde wel aangehouden kan worden.

De conclusie uit deze vergelijkende beschouwing is dat in de omgeving van 'De Piet' een faseverschuiving ten opzichte van Vlissingen van 25 minuten zowel voor Hoogwater als voor Laagwater kan worden aangehouden.

1d. De amplitudeverhouding

Nu de vorm en het faseverschil van de getijkromme bij 'De Piet' herleid is op de kromme te Vlissingen dient nog de amplitudeverhouding vastgesteld te worden. Daar algemeen geldt dat,

$$P_z(t) = A.P_v(t - 25^m) \qquad (1)$$

waarin:

P_z = peil in de Zandkreek bij 'De Piet', op tijdstip t

P_v = peil te Vlissingen, 25 minuten vroeger

A = amplitudeverhouding

wordt de amplitudeverhouding A verkregen uit de verhoudingen van de op de juiste wijze verschoven peilen, dus volgens

$$A = \frac{P_z(t)}{P_v(t - 25^m)} \qquad (2)$$

Van de verhouding A tussen beide peilen kan een indruk verkregen worden door gegevens welke voorkomen in de Jaarboeken met gemeten waterhoogten te analyseren.

De in deze boeken voorkomende maxima (vloedstanden) en minima (ebstanden) werden vergeleken voor Vlissingen en Arnemuiden door van enkele maanden in 1957 het verschil tussen vloed- en ebstand tegen elkaar uit te zetten. Hiermede is dan automatisch aan de eis voldaan dat de goede verschuiving moet zijn aangebracht. Er is aangenomen, dat dit verschil een maat is voor het dubbele amplitude (2A).

Figuur 5 geeft nu een relatie tussen 2 x de amplitude te Arnemuiden (A) en te Vlissingen (V) aan de hand van 165, overigens uit willekeurige maanden gekozen, gegevens. In feite geeft de figuur de verschillen tussen top en het voorafgaande dal. De relatie tussen beide grootheden luidt:

$$A_A = 0.730\ A_V + 0.358 \qquad (3v)$$

Voor het verschil tussen top en navolgende dal waarvan de figuur hier niet wordt gegeven, werd de betrekking gevonden:

$$A_A = 0.728\ A_V + 0.372 \qquad (3n)$$

In figuur 5 staat aangegeven wat een 10% betrouwbaarheidsinterval is, uitgaande van de veronderstelling dat deze door een rechte kan worden voorgesteld. In dat geval moet 10% van de 165 in de figuur aanwezige punten buiten het interval vallen, aan iedere kant 5%. De wijdte van het interval komt nu overeen met 1,64 × de standaardafwijking van de gemeten punten rond de curve.

Er wordt gevonden, dat bij gegeven amplitude (A) van Vlissingen de amplitude (A) te Arnemuiden op ongeveer 10 cm nauwkeurig kan worden vastgesteld.

Eenzelfde beschouwing geldt voor de tweede figuur, zodat als resultaat genomen kan worden, nu voor de enkele amplitude A:

$$A_A = 0,73\ A_V + 0,18 \qquad (4)$$

waarmee de amplitude in de omgeving van 'De Piet' uit die van Vlissingen kan worden afgeleid.

Een verdere beschouwing moet aan het licht brengen hoe willekeurige standen kunnen worden gevonden.

1e. Herleiding van willekeurige peilen

Wordt in (2) het tijdstip van Hoogwater als t ingevoerd, dan geeft de formule de verhouding tussen de amplituden zelf weer. Uit de empirische relatie (4) blijkt, dat deze niet constant is maar van het niveau van A_V afhangt, namelijk wanneer Arnemuiden voor 'de omgeving van 'De Piet''gekozen wordt :

$$A = \frac{A_A}{A_V} = 0,73 + \frac{0,18}{A_V}$$

Als gemiddelde over velerlei situaties kan als niveau voor A_v de waarde 1,90 genomen worden, zodat nu geldt:

$$A = 0,73 + \frac{0,18}{1,90} = 0,82$$

Deze uitkomst kan vergeleken worden met een amplitudeverhouding welke uit figuur 2 kan worden afgeleid door te nemen

$$\frac{147 + 157}{191 + 191} = 0,80 \quad \text{resp.} \quad \frac{161 + 135}{199 + 175} = 0,79$$

Dit betreffen dan waarden te Veere, terwijl voor Kortgene, iets dichter bij het gemaal, gevonden worden

$$\frac{149 + 166}{191 + 191} = 0,82 \quad \text{resp.} \quad \frac{165 + 144}{199 + 175} = 0,83$$

Voor berekeningen ten behoeve van 'De Piet' kan dus een waarde van 0,83 gebruikt worden, zodat (1) nu luidt

$$P_z(t) = 0,83\, P_v(t - 25^m)$$

Opgemerkt wordt nog dat meer parameters die kenmerkend zijn voor de getijdebewegingen te Vlissingen respectievelijk te Arnemuiden met elkaar in verband gebracht zijn op een wijze als weergegeven in figuur 5. Op deze wijze worden echter een aantal relaties gevonden die niet meer als totaalbeeld zijn samen te voegen, daar nu alle specifieke eigenschappen in een groot aantal empirische betrekkingen is uiteengerafeld zonder dat een synthese al deze relaties zinvol kan samenvoegen. De laatst gegeven benadering verdient daarom de voorkeur.

1f. Reconstructie van het buitenpeil

De herleiding van de gemeten standen te Vlissingen op die van de Zandkreek kan nu als volgt plaatsvinden:

Bij de in de maalstaten vermelde tijden wordt het peil opgezocht dat te Vlissingen 25 minuten vroeger viel. Rekening houdend met de invloed van de suatiegeul wordt tevens afgelezen op welk tijdstip, binnen een maalperiode, het peil de grens van 0,5/0,83 = 0,60 m + N.A.P. overschrijdt

en wanneer de grens van 1,10/0,83 = 1,33 m - N.A.P. wordt bereikt. Tevens dient de hoogte van een vloedstand, vallend binnen een maalperiode te worden genoteerd.

De buitenwaterstand wordt nu als volgt behandeld (zie fig. 6)

a) Van elke bemalingsperiode worden de bijbehorende peilen op de registratiestroken afgelezen op tijden welke 25 minuten vroeger vallen. Begin-en eindpeil worden gemiddeld indien voorkomend op gedeelte (1) van de curve. Bevat dit gedeelte een vloedtop, dan wordt die mede gemiddeld. Ligt het eindpunt voorbij deel (1) dan wordt tijdstip T_1 afgelezen.
Er geldt:

Gemiddeld buitenpeil: $\frac{P_A + V + 0,60}{3} \times 0,83$ m

Gedurende : $T_1 - T_A$ min.

b) Vallen T_A en T_E binnen het gedeelte (2) dan wordt het gemiddelde van de bijbehorende peilen genomen over een tijdsduur $T_E - T_A$. Veelal zal echter gelden:

Gemiddeld buitenpeil: $\frac{0,60 - 1,33}{2} \times 0,83 = -0,30$ m

Gedurende : $T_2 - T_1$ minuten

zodat T_1 en T_2 afgelezen moeten worden.

c) Op overeenkomstige wijze wordt het gedeelte (3) behandeld. Veelal zal gelden:

Gemiddeld buitenpeil: - 1,10 m
Gedurende : $T_3 - T_2$ minuten

d) Als b.

e) Als a. In het geval van de figuur dus

Gemiddeld buitenpeil: $\frac{P_E + 0,60}{2} \times 0,83$ m

Gedurende : $T_E - T_4$ minuten

De nu verkregen gemiddelde buitenpeilen worden met figuur 1 omgezet in buitenpeilen bij het gemaal en met het gemiddelde polderpeil tijdens de maalperiode omgezet in opvoerhoogten. Door gebruik te maken van de QH-kromme kan deze opvoerhoogte omgezet worden in een hoeveelheid water (m^3/min) en met behulp van de genoteerde tijden en tussentijden in m^3 voor elk gedeelte van de getijkromme (fig. 6). De som levert de totale uitgeslagen hoeveelheid die met behulp van de oppervlakken in mm/etmaal omgerekend kunnen worden.

De grootte van het gebied kan gesteld worden op 5500 ha tot en met 1953 en 5700 ha daarna (Provinciale Almanakken van Zeeland) toen de Perponcherpolder bij het gebied werd opgenomen.

2. De QH-kromme

Het gemaal wordt bemalen door twee pompen. Een kleine pomp wordt aangedreven door een elektromotor en een grote pomp door een dieselmotor. Van beide pompen zijn begin- en eindtijden van bemaling aangegeven.

Door de Cultuurtechnische Dienst werd de capaciteit vastgesteld op 28 februari 1957. Het resultaat (tweemaal drie waarnemingen) staat weergegeven in figuur 7. De drie punten zijn op het oog verbonden door een kromme die een traject van opvoerhoogten bestrijkt, liggend tussen 80 cm en 250 cm. Daar de verdere bewerking van de gegevens op numerieke wijze zal worden uitgevoerd dienen de gegeven curven door een benaderingsformule te worden weergegeven. Een dergelijke formule kan voor interpolatie gebruikt worden, doch ook extrapolatie zal moeten worden toegepast.

Zo blijkt uit figuur 1 dat bij buitenstanden hoger dan - 1,10 m de opvoerhoogte 265 cm bedraagt en indien bij hoge buitenwaterstanden moet worden gepompt kan oplopen tot waarden die hoger liggen. Overigens wordt de berekening uitgevoerd met buitenwaterstanden die gemiddeld worden over de onderdelen van elke maalperiode, zodat de figuur het traject wel goed weergeeft. Verdere verlenging van de curven zou dus in enkele gevallen maar noodzakelijk zijn, doch er bestaat nog geen indruk over het aantal malen dat dit het geval zal zijn.

3. Voortplanting van de onnauwkeurigheden in fase- en amplitudebepaling

Doordat het juiste faseverschil en de juiste amplitude van de getijkromme bij 'De Piet' niet bekend zijn, werden benaderingsmethoden voorgesteld om tot een redelijke aanname te komen. Dat de gegeven benadering inderdaad redelijk is, volgt uit een eenvoudige foutenanalyse, waarbij de invloed van de onnauwkeurigheden van beide grootheden wordt nagegaan. Uiteraard moet enigszins schematisch te werk worden gegaan doch het feit dat de getijkromme alle eenzelfde en sterk sinusoïdaal karakter hebben maken dat deze schematisering niet al te grof is.

De afwijkingen tengevolge van een verkeerd gekozen amplitude en faseverschuiving hebben eveneens een sinusoïdaal karakter, hetgeen met de volgende herleiding kan worden aangetoond:

Stel dat de juiste curve voldoet aan

$$Y = A \sin t + a \qquad (5)$$

Wordt op het juiste gemiddelde niveau a, doch met afwijkende amplitude en faseverschuiving, een curve aangenomen, dan zal het verschil met de eerste curve bedragen

$$(A + \Delta A)\ \sin(t + \Delta t) - A \sin t \qquad (6)$$

na enige uitwerking ontstaat hieruit de sinusoïde

$$C \sin\ (t + \tau) \qquad (7)$$

waarin de amplitude is

$$C = \ 2A(A + \Delta A)\ (1 - \cos \Delta t) + (\Delta A)^2 \qquad (8)$$

en de faseverschuiving volgt uit

$$tg\tau = \frac{(A + \Delta A)\ \sin \Delta t}{(A + \Delta A)\ \cos\Delta t - A} \qquad (9)$$

Maximale afwijkingen worden volgens (7) dus steeds verkregen bij waarden van $\sin(t + \tau) = 1$ en zijn dan gelijk aan C. Dit maximum hangt dan af van de mate waarin A en t verkeerd gekozen zijn. Het maximum is uiteraard slechts gelijk aan C = 0 als de faseverschuiving gelijk aan $\Delta t = 0$ en de amplitude $(A + \Delta A) = A$ en dus correct werden gekozen. ΔA en Δt zijn echter essentieel onbekend, maar nagegaan kan worden welke invloed verkeerde aannamen van A en t op het resultaat hebben.

Wordt eerst gesteld dat $\Delta A \simeq 0$ dan volgt voor de maximaal te verwachten afwijking

$$C = A\sqrt{2(1 - \cos\Delta t)} \qquad (10)$$

Uit de 'Getijtafels' volgt nog voor Vlissingen dat de ebduur 6^h34^m en de vloedduur 5^h51^m bedraagt. De totale golflengte, overeenkomend met 360°, is dus 12^h25^m of 745 minuten, zodat 10 minuten overeenkomt met 4.83^o of $4^o50'$.

Voor verschillende waarden van Δt volgt hieronder de factor waarmee A vermenigvuldigd moet worden om C te verkrijgen.

Minuten	Δt gr.	sec	cos Δt	1-cosΔt	$\sqrt{2(1-\cos\Delta t)}$	in %
5	2	25	0.9991	.0009	0.042	4
10	4	50	0.9964	.0036	0.085	9
15	7	15	0.9920	.0080	0.127	13
20	9	40	0.9858	.0142	0.169	17
25	12	05	0.9778	.0222	0.211	21
30	14	30	0.9681	.0319	0.253	25

Wordt met de gevolgde methode aangenomen dat de fasevertraging op ongeveer 10 minuten nauwkeurig kan worden bepaald, dan kan een maximale afwijking van de waterstanden van ten hoogste 10% verwacht worden.

Wordt aangenomen, dat $\Delta t \approx 0$ dan volgt voor de maximaal te verwachten afwijking

$$C = \Delta A$$

en, met het resultaat verkregen in figuur 5:

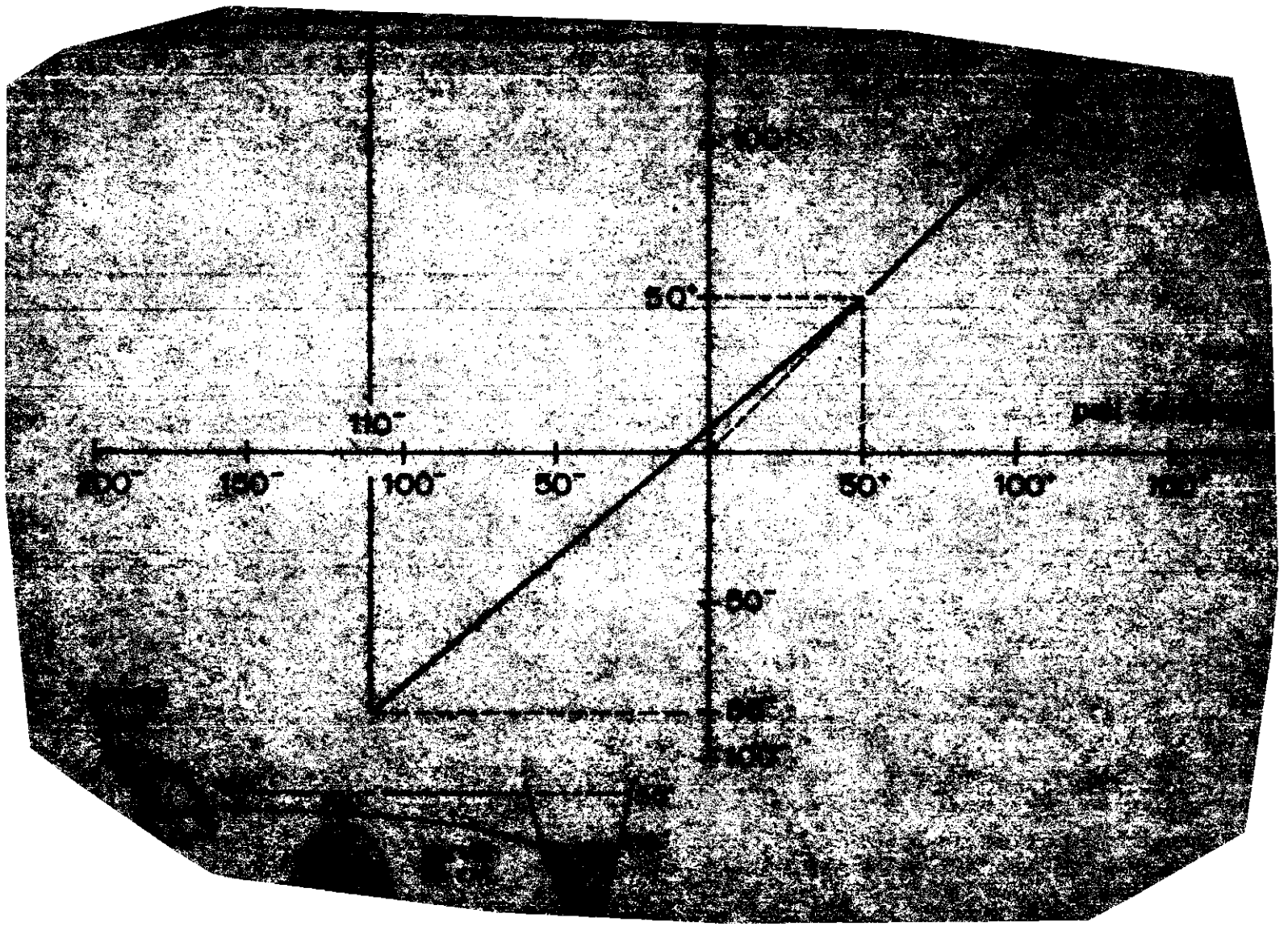
$$C = 0,10$$

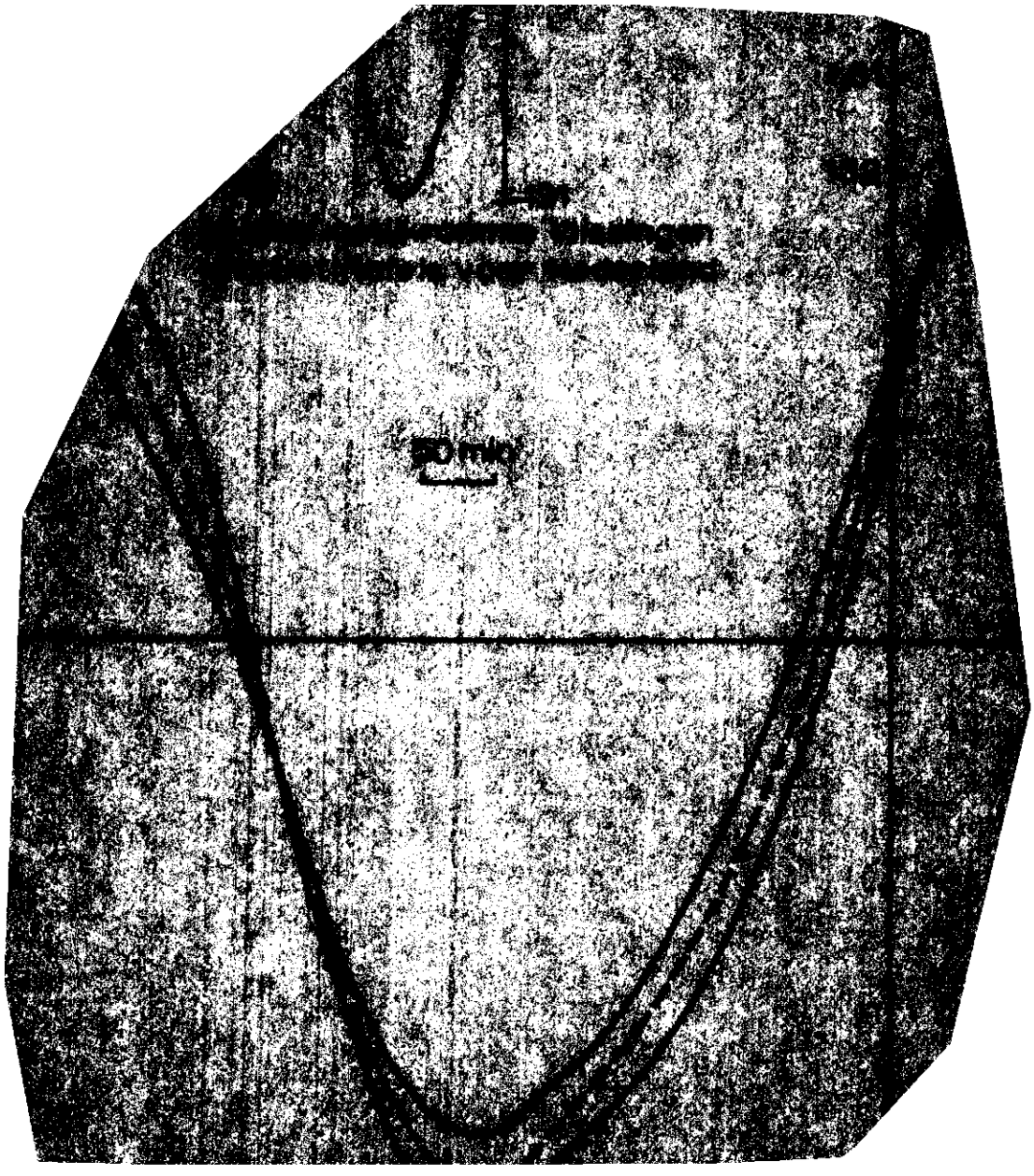
De gemiddelde amplitude kan aan de hand van figuur 3 op 1,55 m gesteld worden. De volledige formule geeft dan met Δt = 10 minuten en ΔA = 0,10 m ingevuld in (8) een maximale afwijking van

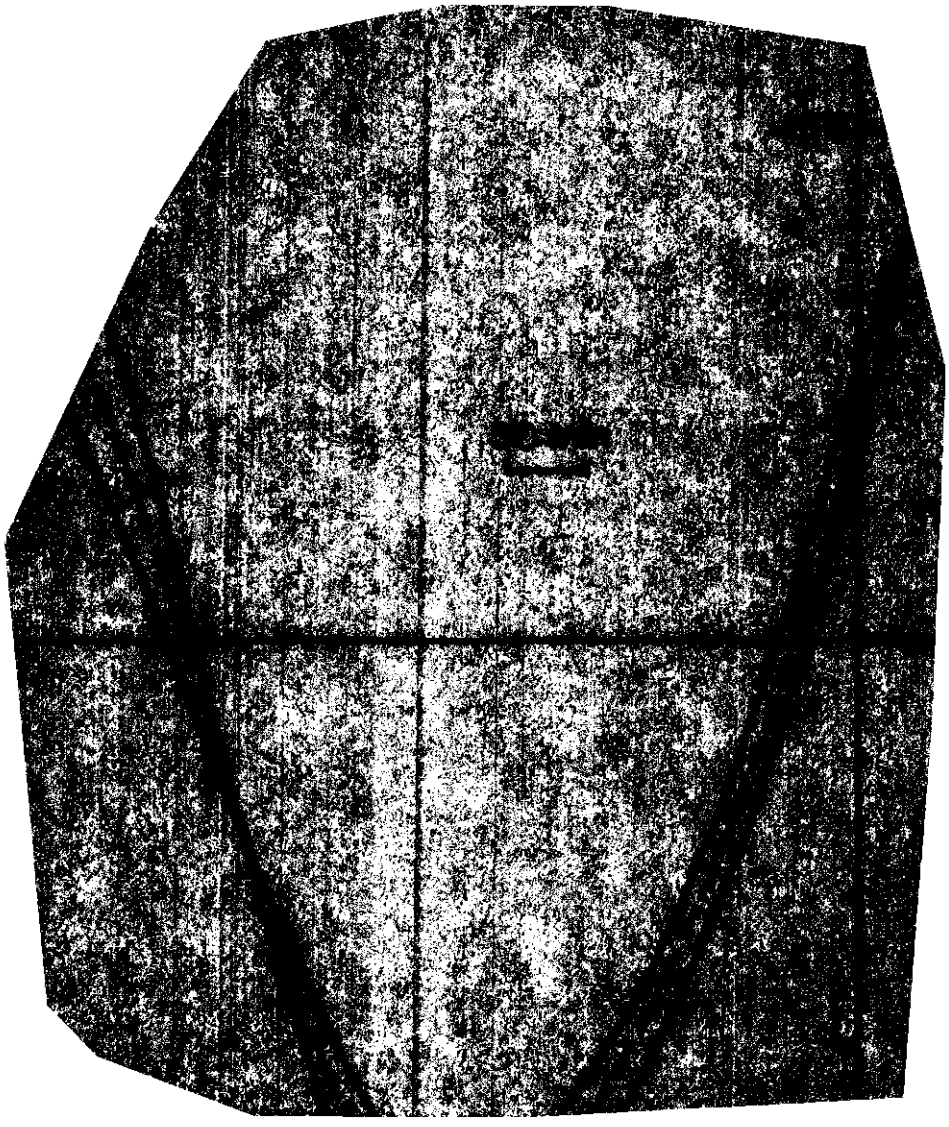
$$C = \sqrt{2(1,55)(1,65)(0,0036) + 0,001} = 0,17 \text{ m}$$

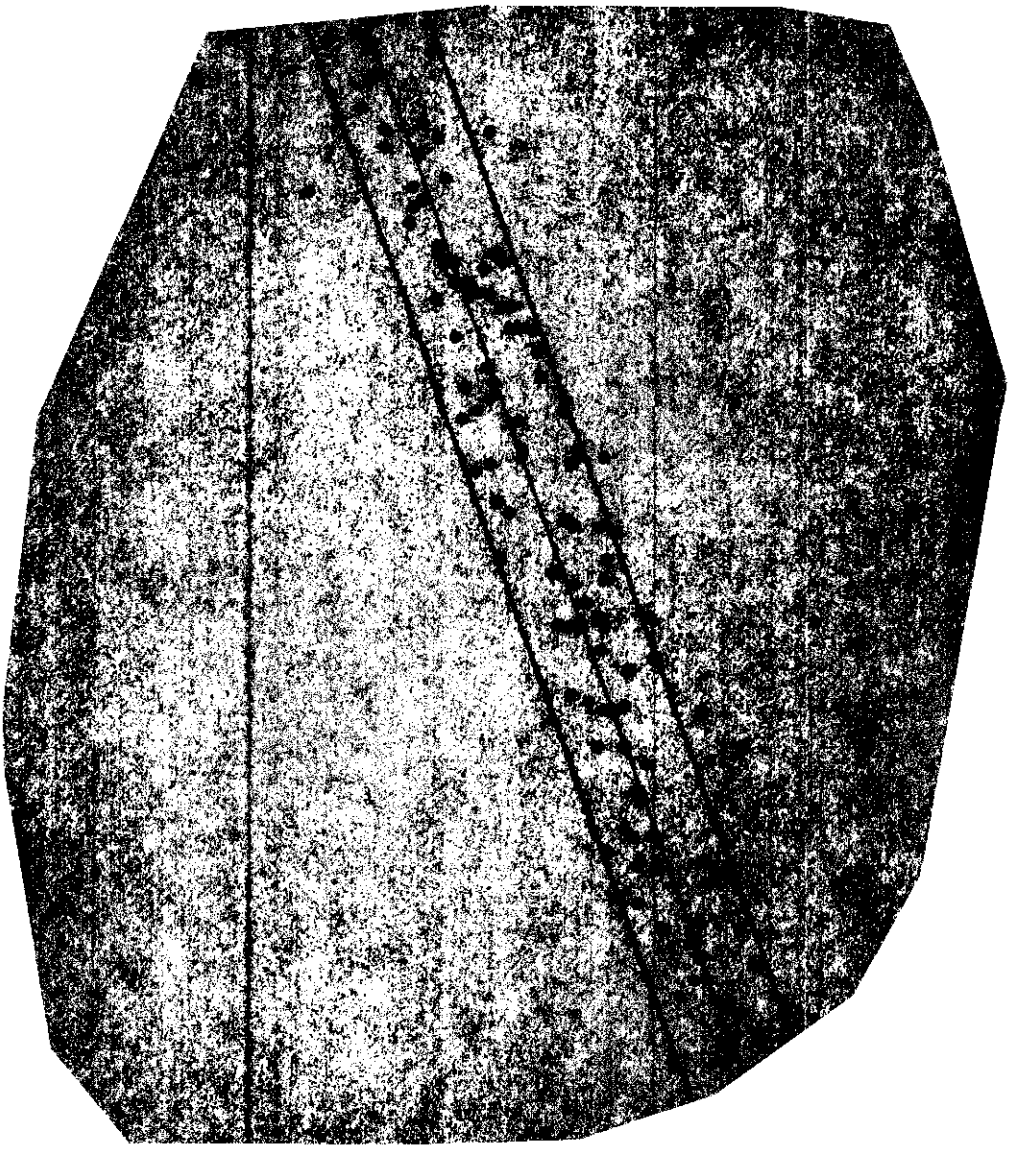
Wordt deze waarde overgebracht naar figuur 7, dan blijkt dat met deze afwijkingen fouten in de opbrengst van het gemaal kunnen ontstaan, die in de orde liggen van ongeveer 10 m^3/min in het steile gedeelte van de curve. Bij grote opvoerhoogten loopt dit terug tot ongeveer 5 m^3/min. Op de debietschaal betekent dit een afwijking van maximaal 5%.

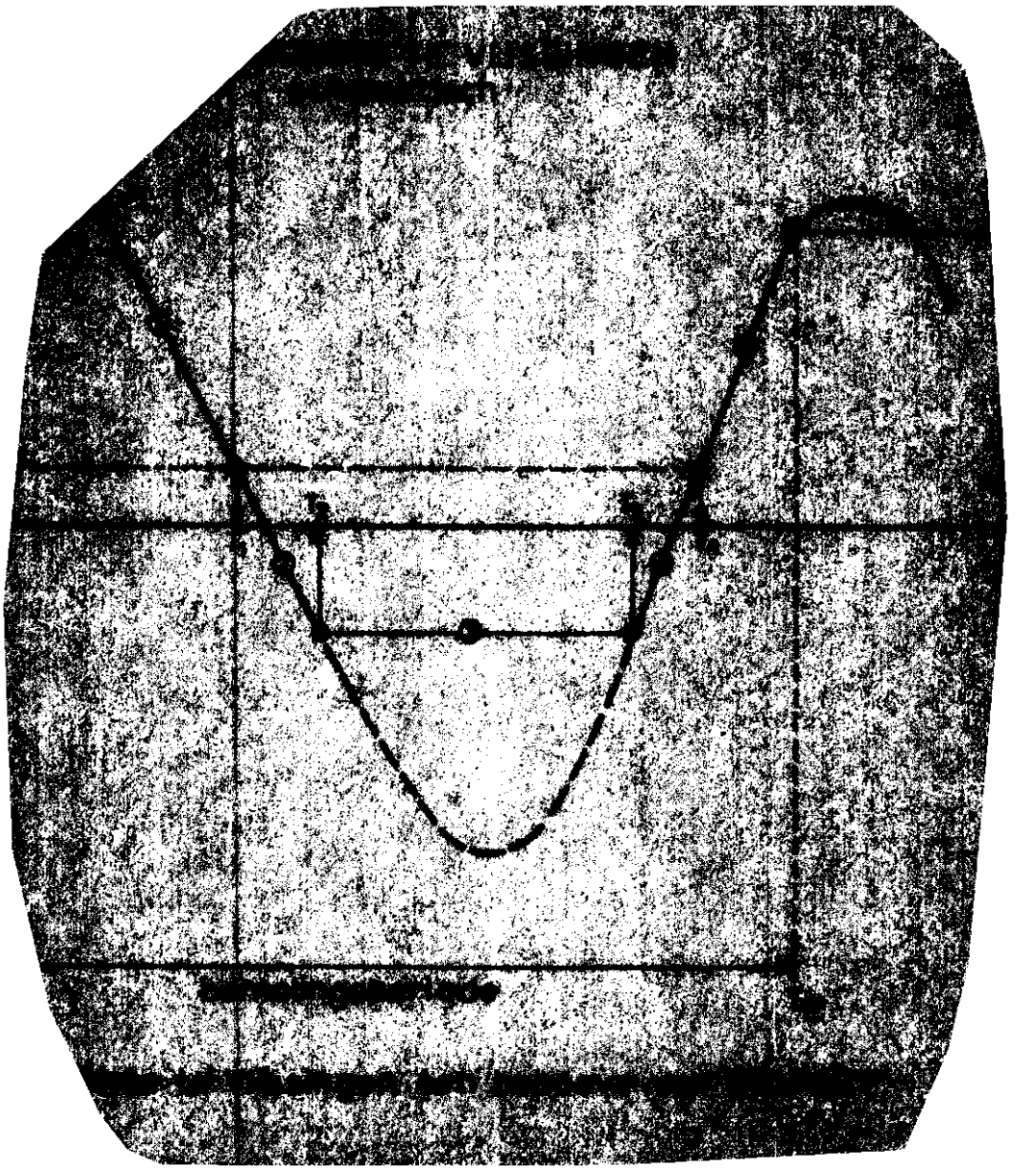
Opgemerkt moet worden dat onnauwkeurigheden door het gebruik van gemiddelde polderpeilen geheel buiten beschouwing zijn gebleven.

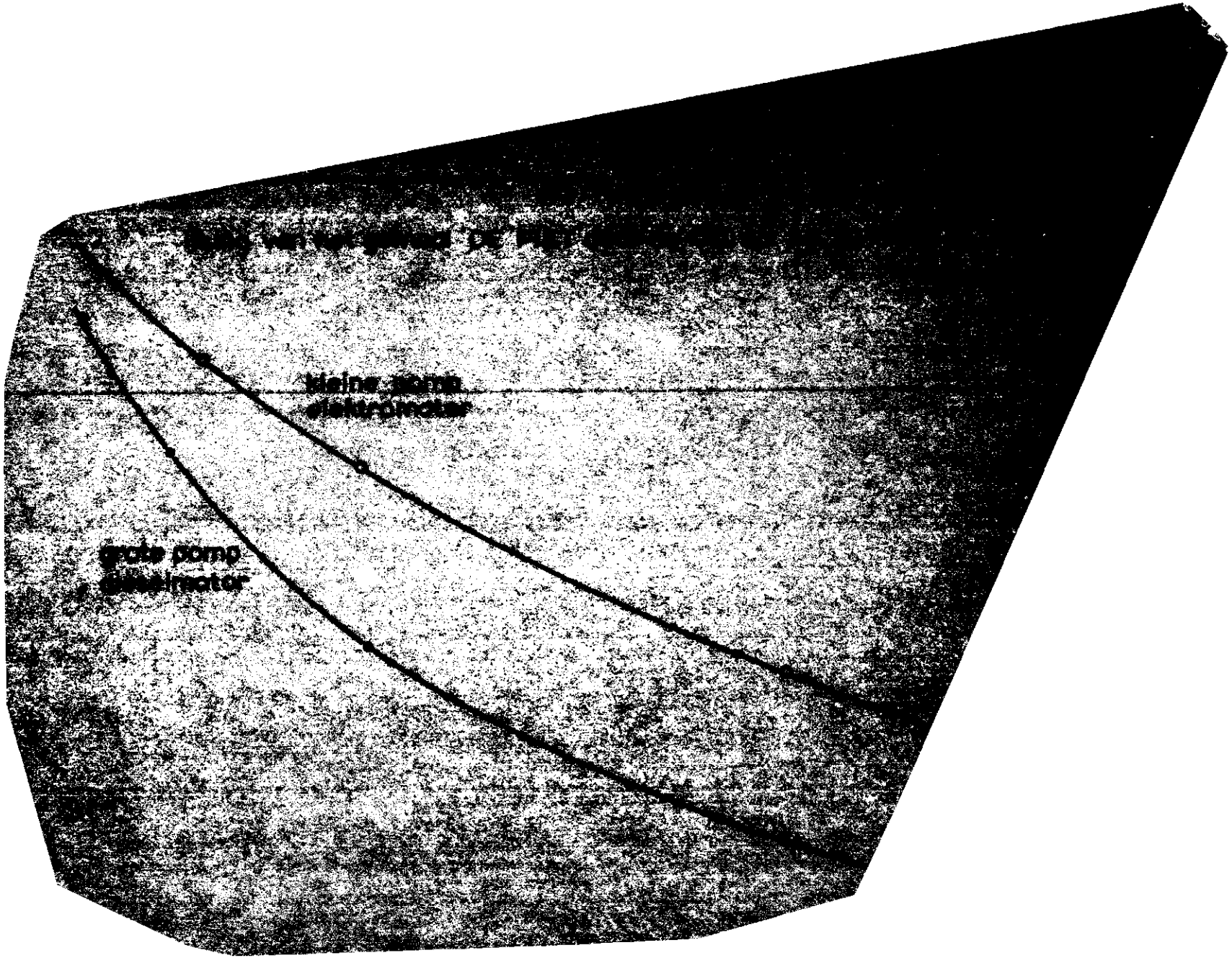

50°
110°
100°
50°
50°
100°
-50°










kleine pomp
elektromotor
grote pomp
dieselmotor